**XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica**

**SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro**

**Olinda - Pernambuco - Brasil**

# Automatismo para Controle Automático de Tensão em Transformadores Reguladores ou Reguladores de Tensão

| Valdinei Siviero | Anizio Quedmar de Souza | Valdir Francisco da Silva |
|---|---|---|
| **Cemig Distribuição S.A.** | **Cemig Distribuição S.A.** | **Cemig Distribuição S.A.** |
| valdinei@cemig.com.br | anizio@cemig.com.br | valdirfco@cemig.com.br |

**Palavras-chave**

Automatismo
Controle
Regulador
Supervisório
Tensão

**Abreviações e siglas**

**LAF-CAT:** Função de Automação Local – Aplicativo instalado em UTR/CLP com a função de controlar a tensão nos barramentos de distribuição.
**UTR:** Unidade terminal remota.
**CLP:** Controlador lógico programável.
**Function Block**: Linguagem de programação utilizando blocos lógicos.
**Ladder:** Linguagem de programação utilizando diagrama de contatos.
**Algorítmo:** Seqüência não ambígua de instruções, executada até que determinada condição se verifique, atendendo a um objetivo pré-definido.
**RELÉ 90:** Relé eletrônico que tem como função promover o controle da tensão dentro de limites pré-estabelecidos.
**Vref.:** Tensão de referência.
**Vbarra:** Amostra de tensão da barra regulada.

**Resumo**

O Automatismo LAF-CAT foi desenvolvido para suprir as alterações no desempenho dos relés eletrônicos para controle de tensão, submetendo os consumidores a níveis de tensão fora dos limites estabelecidos pela ANEEL, gerando insatisfação, reclamação e um passível de multa para as concessionárias.
Este algoritmo LAF-CAT foi idealizado como função principal na regulação de tensão e o relé eletrônico como função de retaguarda.
Flexibilidade operacional com a parametrização ON-LINE via sistema supervisório, antes da implantação deste algoritmo, estes ajustes somente poderiam ser realizados diretamente no relé eletrônico instalado dentro da caixa do comutador, envolvendo as equipes de operação/manutenção, ocasionando deslocamentos e indisponibilidade operacional do relé eletrônico para o sistema durante a intervenção. A parametrização on-line proporcionou drástica redução dos custos, otimizando os recursos de manutenção.

Proporcionou redução dos custos na ordem de R$ 5300,00/ano por equipamento, considerando 23 LAF-CAT já instalados, totalizando uma economia de R$ 121900,00/ano. Considerando a previsão de instalação para mais 27 transformador-reguladores, a economia total prevista será de R$ 265000,00/ano apenas para o regional triângulo.
Baixo custo, resumindo basicamente na aquisição de materiais e mão de obra, apresentando um custo médio da ordem de R$ 5000,00 por unidade, recuperando o investimento após o 1º ano de implementação.

## 1. Introdução

Com o advento da automatização de subestações, surgiu à possibilidade de se automatizar processos ou rotinas operacionais, possibilitanto desenvolver algorítmos para as mais variadas finalidades, como o LAF-CAT que supriu as funções de relé eletrônico introduzindo recursos adicionais aumentado à eficiência no controle da tensão.
Estes aplicativos são instalados e executados nas UTR's, CLP's ou qualquer equipamento de aquisição de dados dotado de recursos de programação e comunicação externa.
Geralmente estes algorítmos são desenvolvidos utilizando linguagem de baixo nível oferecido pelos fabricantes dos controladores (Ex.: Function Block, Ladder, Linguagem Descritiva entre outras).
Para este aplicativo foram desenvolvidas telas especificas para operação e para engenharia, interagindo o sistema supervisórios no centro de controle com o automatismo nas subestações.
Excelente custo benefício, confiabilidade, praticidade, manutenção reduzida, parametrização ON-LINE interagindo com o sistema supervisório.

## 2. Desenvolvimento

O Automatismo LAF-CAT foi desenvolvido para suprir as alterações no desempenho dos relés eletrônicos de controle de tensão, geralmente instalados dentro da caixa de concentração dos Trafos/Reguladores, considerando que a temperatura interna destas caixas de concentração atinge valores elevados alterando as características dos componentes eletrônicos, promovendo oscilação em seu desempenho operacional, conseqüentemente falha na regulação da tensão, submetendo os consumidores conectados a esta barra regulada a níveis de tensão insatisfatórios, fora dos limites permitidos, ocasionando insatisfação, reclamação, indenizaçãoes e até mesmo a aplicação de multa por descumprimento de normas estabelecidas pela ANEEL.
Com a disponibilidade de utilização dos recursos de programação oferecidos pelas UTR's/CLP's das subestações automatizadas, iniciamos o projeto LAF-CAT em março de 2001, elaborando inicialmente o fluxograma operacional de controle de tensão conforme podemos observar na imagem 2 procuramos manter todas as funcionalidades do relé eletrônico acrescentando outras ferramentas para monitoração e parametrização em tempo real, via sistema supervisório.
Idealizamos o automatismo LAF-CAT como sendo o controle de tensão principal, e o relé eletrônico como controle de tensão de retaguarda, sendo que a comutação entre o automatismo LAF-CAT e o relé eletrônico, ocorre automaticamente pelo automatismo diante de certas situações que impossibilitem que a função principal permaneça em serviço, desabilitando o automatismo LAF-CAT e colocando em serviço o relé eletrônico, tão logo retorne a condição normal, a operação inversa é realizada inserindo novamente o automatismo LAF-CAT como função principal, desta forma o automatismo permitirá dois modos de operação, modo atuação e modo supervisão, no modo atuação estará exercendo a função de controle de tensão principal, já no modo supervisão estará na condição de monitoramento do controle de tensão pelo relé eletrônico caso este esteja em serviço, reportando ao centro de operação o desempenho do relé eletrônico através de avisos para o sistema supervisório, conforme fluxograma do algoritmo do automatismo para controle de tensão LAF-CAT da imagem 2.

### 2.1 *Fluxograma operacional do controle de tensão LAF-CAT*

Como podemos observar pela análise do fluxograma da imagem 2, Inicialmente verifica-se o estado do LAF-CAT “modo atuação” ou “modo supervisão”, na condição atuação, significa que o relé eletrônico está na condição fora de serviço operando como retaguarda do automatismo, quando LAF-CAT estiver na condição supervisão, verifica-se o relé eletrônico em serviço exercendo a função principal de controle de tensão, sendo monitorada pelo algoritmo LAF-CAT.
Apos verificado LAF-CAT no modo atuação verifica-se na seqüência se a função reta de carga está na condição ligada, se afirmativo significa dizer que o Vref. será calculado em função do carregamento do transformador/regulador conforme podemos observar na imagem 3, considerando que a reta de carga esteja desligada, o Vref. será fixo(13,8 ~ 15,2KV- default 14,3KV) e o aplicativo será disparado sempre quando a Vbarra ultrapassar o valor pré-ajustado de Vref. fixo acrescido ou decrescido da banda morta selecionada (0,63 ~ 3,12% - default 0,63%) ou  Vref. calculado acrescido ou decrescido da banda morta, estabelecendo a zona “Y”. Caso Vbarra esteja fora da faixa estipulada pela zona “Y”, verifica-se se a ferramenta lógica tabela inversa está na condição Ligada, nesta condição o tempo para promover a correção da tensão será definido pelo tempo morto calculado em uma função inversa, quanto maior for à diferença entre Vbarra e Vref. Fixo ou Calculado, menor será o tempo para correção da tensão, conforme podemos observar na imagem 6, caso a tabela inversa esteja na condição desligada, o tempo definido para promover a correção da tensão será fixo (5 ~ 120Seg’s – default 60seg’s). Concluído o tempo fixo ou calculado ocorrerá o comando para corrigir a tensão Vbarra, até que esta retorne para a faixa “Y”.
Caso Vbarra esteja dentro da faixa estipulada pela zona “Y”, verifica-se na seqüência se Vbarra está fora da Zona “X”, está zona “X” tem exatamente a metade da área definida na zona “Y”, sendo afirmativo, verifica-se na seqüência se já ocorreu uma única operação nesta condição, caso afirmativo retorna-se a condição inicial do algoritmo, considerando Vbarra dentro dos limites de tensão estabelecidos, sem necessidade de correção, esta mesma condição será atribuída à situação de Vbarra dentro da faixa “X”. Caso esta seja a primeira operação verifica-se a ferramenta lógica tabela inversa na condição Ligada, nesta condição o tempo para promover a correção da tensão será definido pelo tempo morto calculado conforme já descrito acima, caso a tabela inversa esteja na condição desligada, o tempo definido para promover a correção da tensão será fixo (5 ~ 120Seg’s – default 60seg’s). Concluído o tempo fixo ou calculado ocorrerá o comando para corrigir a tensão Vbarra, até que esta retorne saia da faixa “X”. O reset do contador de primeira operação dentro da faixa “Y” e fora da faixa “X” ocorrerá sempre que Vbarra ultrapassar a faixa “Y”, conforme observamos na imagem 1.

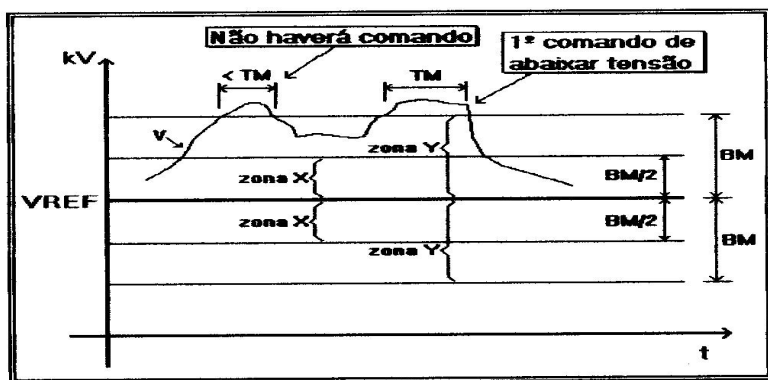



Imagem 1

Depois de efetuado o comando para o comutador de tap’s do transformador regulador ou regulador de tensão, na tentativa de corrigir Vbarra, aguarda um delay de 8 seg’s e verifica na seqüência se ocorreu alteração na indicação no TAP conforme o comando executado para elevar ou diminuir a tensão, caso a nova indicação de TAP seja coerente com o valor esperado, retorna-se a condição inicial do algoritmo, caso contrário será gerado o alarme “ERRO TAP”, significa dizer que ocorreu falha na indicação ou na comutação de TAP.
Retornando ao inicío do fluxograma, considerando o LAF-CAT na condição “modo supervisão”, verifica-se na seqüência se o relé eletrônico está na condição ligado, sendo afirmativo verifica se Vbarra ultrapassou a faixa estipulada pela Vref. fixo + banda morta, com Vbarra fora da faixa inicia-se a temporização fixa de 60seg’s, concluída a temporização do tempo morto fixo, verifica se a tensão Vbarra retornou para a faixa, caso afirmativo retorna na condição inicial do algoritmo, caso negativo

será gerado os alarmes para elevar ou abaixar a tensão de acordo com comando efetuado, reportando ao centro a necessidade de se regular manualmente a tensão, esta mesma situação ocorrerá quando LAF-CAT e relé eletrônico estiverem na condição “fora de serviço”, pois ocorreu falha no controle de tensão pelo relé 90.

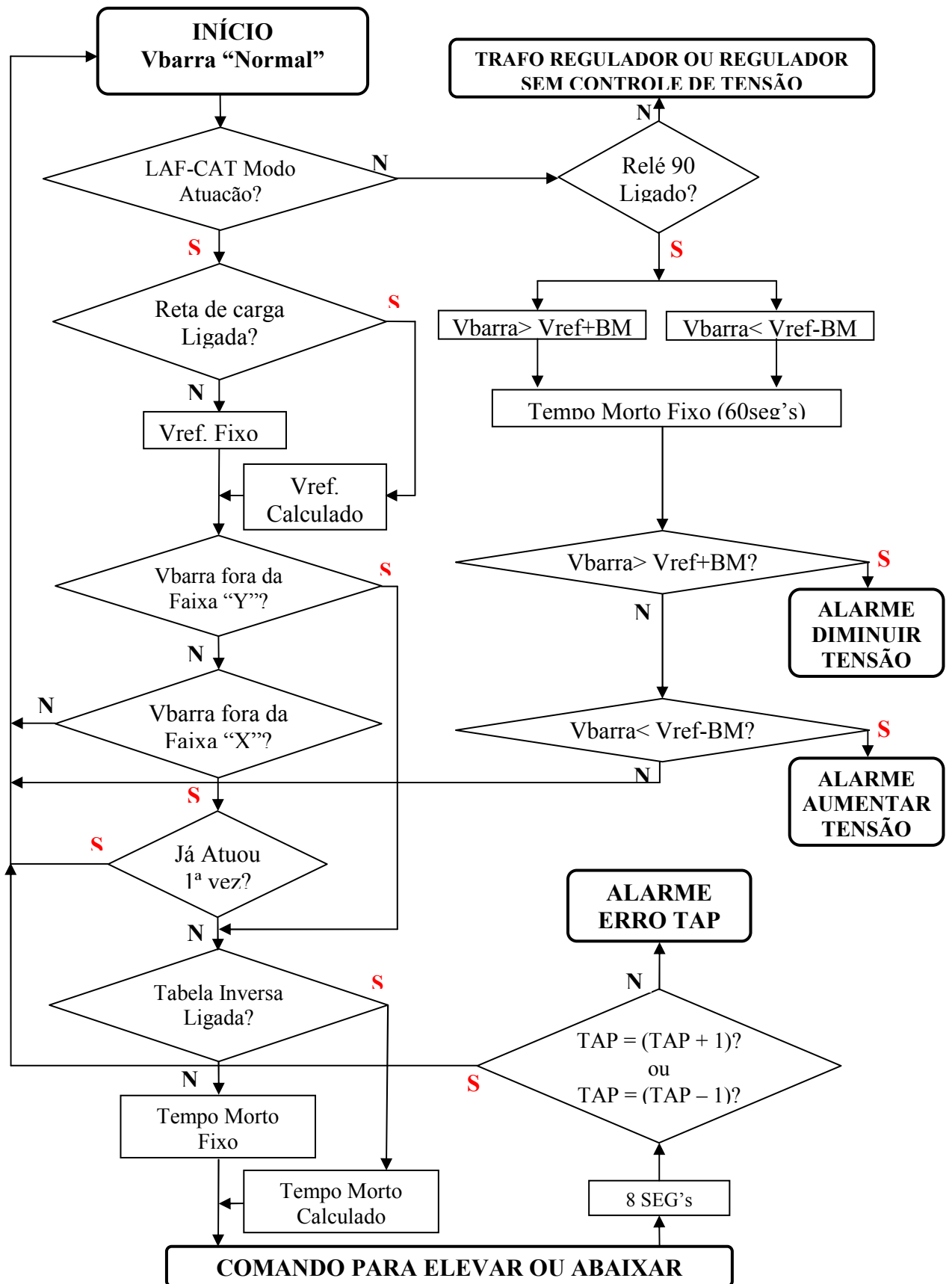



Imagem 2

**2.3** ***Ferramenta lógica Reta de carga:***

Esta função lógica possibilita que a Vref. seja determinada em função do carregamento dos transformadores reguladores ou reguladores de tensão, desta forma a Vref. será calculada acompanhando a oscilação de carga em tempo real, a fórmula para calcular Vref. está descrito na fórmula (1), para isso faz necessária estipular os seguintes parâmetros: Vmin; Vmax; Imin e Imax, estes valores devem ser definidos considerando a curva de carga do equipamento, recomenda-se atualização mensal ou quando houver inclusão ou corte de carga programada que cause significativa alteração na tensão, quanto maior for à fidelidade na transposição destes parâmetros, maior será a eficiência desta ferramenta, mantendo a tensão elevada com carregamento elevado e vice-versa, estipulando limites para Vref. calculado, permanecendo sempre dentro da faixa determinada por Vmin. E Vmax.

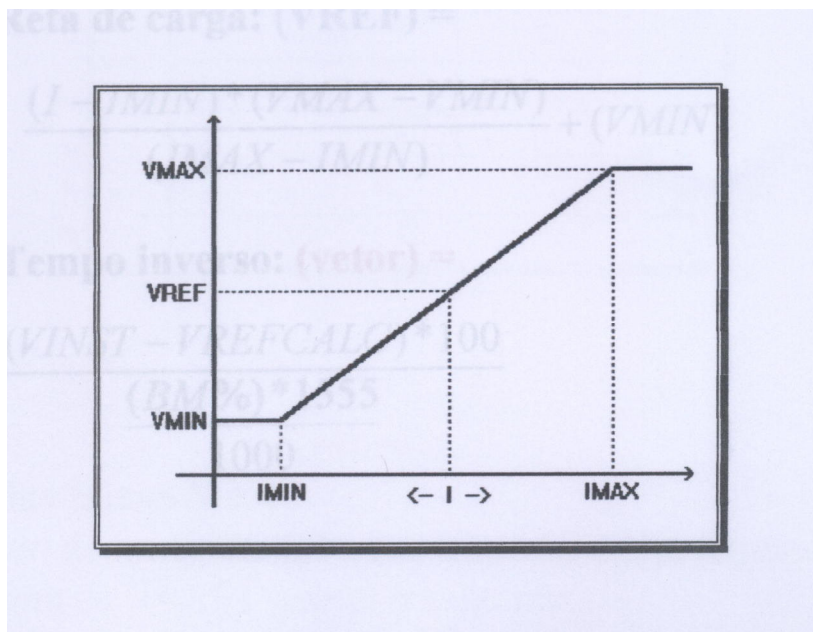



Imagem 3

$$Vref. = \frac{(I - IMin) * (VMax - VMin)}{(IMax - IMin)} + (VMin) \quad (1)$$

**Vref.:** Tensão de referência;
**Vmin.:** Tensão mínima em que Vref. Calculado poderá atingir;
**Vmin.:** Tensão máxima em que Vref. Calculado poderá atingir;
**Imin.:** Corrente mínima encontrado no último carregamento mensal;
**Imax.:** Corrente máxima encontrado no último carregamento mensal;

Vamos simular a configurações da reta de carga utilizando as imagens 4 e 5, que representam o carregamento mensal de um transformador regulador, corrente e tensão respectivamente, especificamente a imagem 5 que representa o comportamento do controle de tensão do relé eletrônico, considerando que este receba o LAF-CAT.

Analisando a imagem 4 definiremos os parâmetros Imax e Imin, podemos observar que o maior valor de corrente atingiu algo próximo dos 370Amp. E que a Vmin atingiu em torno de 120Amp., baseado nestas informações poderemos escolher 100Amp. para Imin e 400Amp. para Imax, quanto mais próximo for estes parâmetros em relação ao regime carga do equipamento, melhor será a relação Vref x Carga.

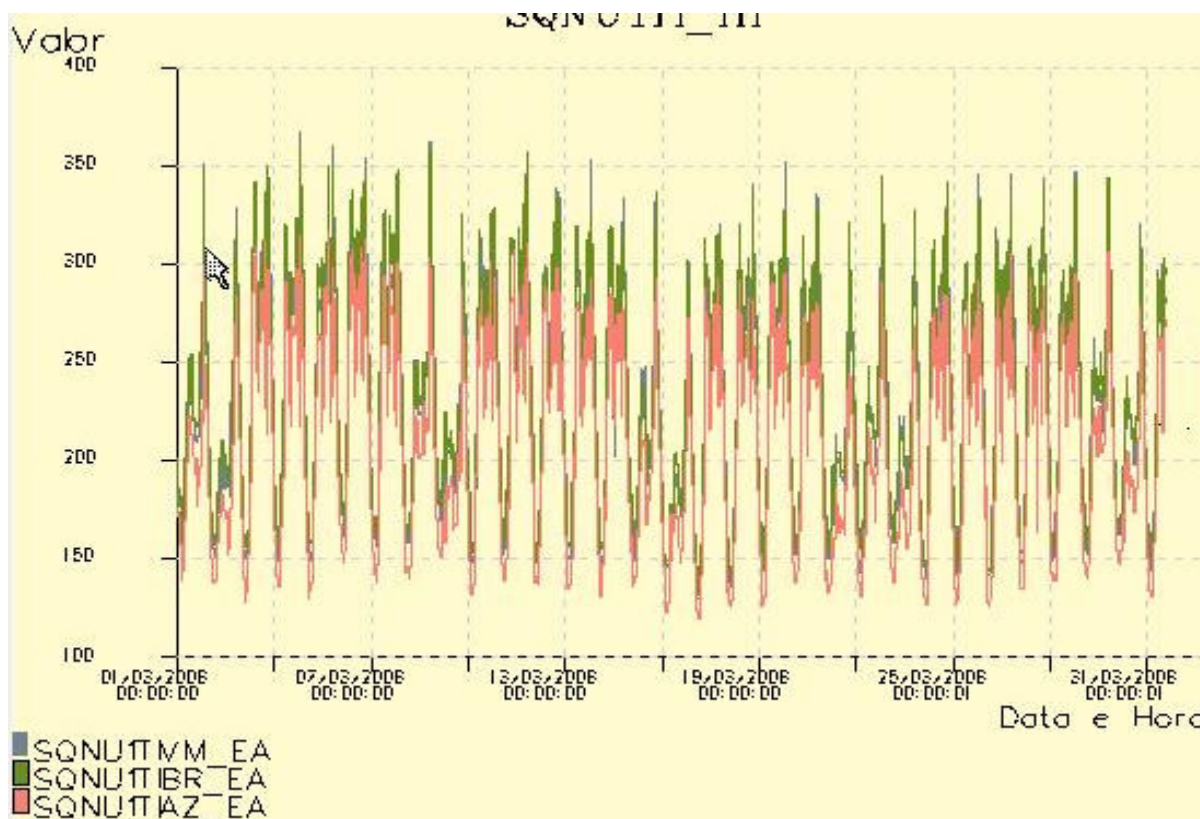



Imagem 4

Analisando a imagem 5 definiremos os parâmetros Vmax e Vmin, podemos observar que o maior valor de Tensão atingiu algo próximo dos 14,43KV e Vmin atingiu em torno de 13,92KV, mesmo sendo esta a menor tensão verificada, não é recomendável a utilizarmos, pois trata-se de um único caso isolado, o correto é utilizarmos 14,02KV ou algo próximo deste valor, representando a condição de tensão mínima. Após a escolha destes parâmetros através da análise direta do gráfico da imagem 5, temos que confrontar se estes valores estão dentro dos limites de tensão, atendendo as normas especificas da ANEEL, caso esteja fora destes limites, devemos adequar de forma que não sejam extrapolados, neste caso específico poderíamos utilizar Vmin em 14,1KV e Vmax e 14,45KV.

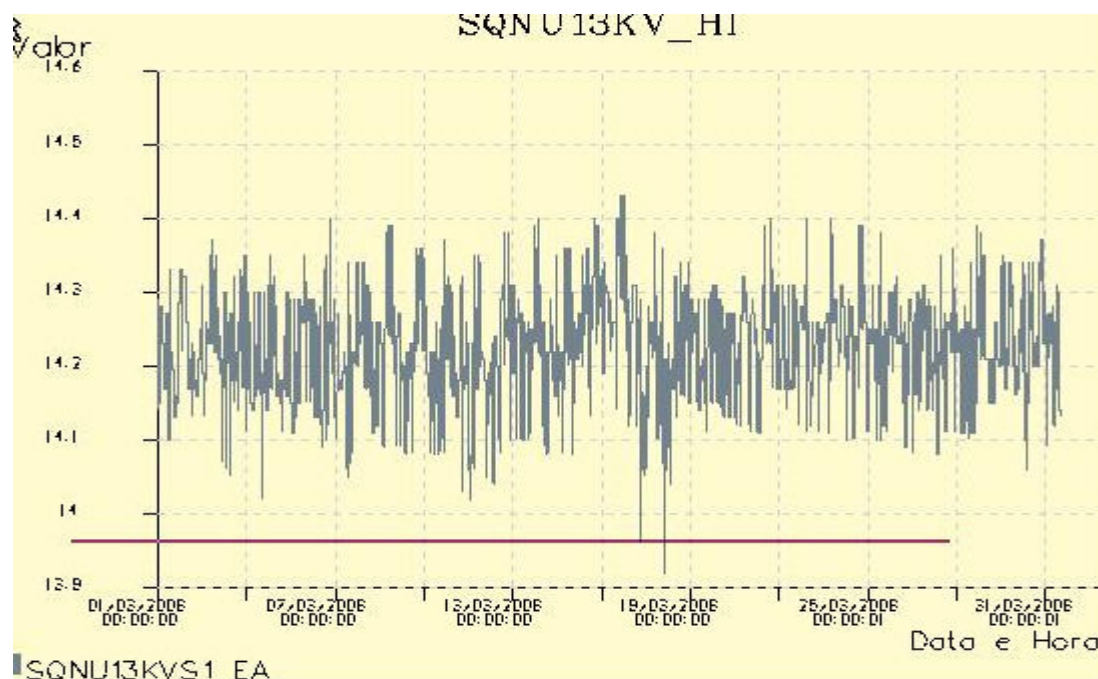



Imagem 5

Observamos através destas imagens 4 e 5, a existência de uma relação inversa entre o carregamento e a tensão, à medida que o carregamento sobe a tensão diminui e vice-versa, quando diminui o carregamento a tensão sobe. Esta ferramenta reta de carga atende exatamente esta necessidade de se variar o Vref em função da carga, os efeitos diretos na utilização desta ferramenta e a obtenção de uma tensão regulada maior em momentos de pico de demanda, além de reduzir o número de operações do comutador.

**2.3** ***Ferramenta lógica Tabela Inversa:***

Esta função lógica possibilita que a Vbarra seja regulada no menor tempo possível em função da diferença existente entre a Vbarra e a Vref calculada ou fixo, estabelecendo uma relação inversa entre o tempo morto para correção da tensão e a diferença de tensão, quanto maior fora esta diferença entre Vbarra e Vref, menor será o tempo de comutação, impedindo desta forma que os consumidores permaneçam com níveis de tensão indesejados durante tempo excessivo, conforme imagem 6.

Para esta implementação foi criado o vetor de correção com a fórmula (2), após definição deste vetor, este determinará qual o fator de temporização pré-definido, que será adotada como tempo morto calculado.

$$Vetor = \frac{(Vbarra - Vrefcalculado)*100}{\frac{(BM\%)*1555}{1000}} \qquad (2)$$

**Vetor:** Indexador que será utilizado para escolher o tempo morto;

**Vref calculado:** Tensão de referência calculada de acordo com a fórmula (1);

**Vbarra:** Amostra de tensão da barra regulada

**BM:** Banda Morta que defina o tamanho das faixas de regulação “X” e “Y”;

| Se VETOR | Faça FATOR |
|---|---|
| <2 | =1000 |
| =2 | =717 |
| =3 | =508 |
| =4 | =389 |
| =5 | =256 |
| =6 | =194 |
| =7 | =142 |
| =8 | =97 |
| =9 | =81 |
| >9 | =69 |

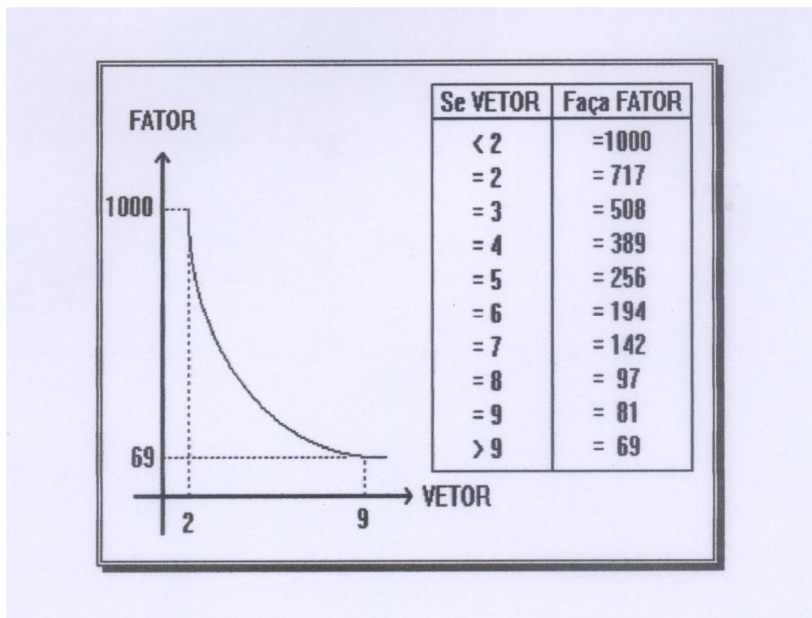



Imagem 6

**2.3** ***Interfaces entre o Aplicativo LAF-CAT e o Sistema Supervisório***

Para possibilitar a interação entre o aplicativo de controle de tensão LAF-CAT e o centro de supervisão e controle, foram desenvolvidas telas específicas no sistema supervisório. Na imagem 7 temos a tela de Engenharia do LAF-CAT, a parametrização desta tela somente é habilitada ao pessoal do setor de engenharia, responsável pela atualização destes parâmetros de acordo com o carregamento e condições operativas vigentes.

TELA DE PARAMETRIZACAO - MONTE CARMELO

| | MINIMO | MAXIMO | TRAFO 1 | | TRAFO 2 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TENSAO DE REFERENCIA | 13,8 kV | 15,2 kV | 14.30 | CMD | 14.30 | CMD |
| TEMPO MORTO | 5 s | 120 s | 60 | CMD | 60 | CMD |
| BANDA MORTA | 0,63 % | 3,12 % | 0.63 | CMD | 0.63 | CMD |
| CORRENTE MAXIMA - RETA DE CARGA | 350 A | 800 A | 350.0 | CMD | 350.0 | CMD |
| CORRENTE MINIMA - RETA DE CARGA | 100 A | 250 A | 120.0 | CMD | 120.0 | CMD |
| TENSAO MAXIMA - RETA DE CARGA | 14,2 kV | 14,5 kV | 14.40 | CMD | 14.40 | CMD |
| TENSAO MINIMA - RETA DE CARGA | 13,8 kV | 14,2 kV | 14.19 | CMD | 14.19 | CMD |
| CONTADOR COMUTACAO TAP ACUMULADO | | | 787 | CMD | 542 | CMD |

Imagem 7

**TENSÃO DE REFERÊNCIA:** Indica a tensão ajustada que será utilizada como referência para se determinar qual é a diferença entre a Vbarra, permite alterar a tensão de referência ON-LINE dentro da faixa estipulada entre 13,8 e 15,2KV, ajuste default de 14,3KV.

**TEMPO MORTO:** Indica o tempo fixo que será utilizado para corrigir a tensão, quando a tabela inversa estiver na condição desligada, permite alterar o tempo morto ON-LINE dentro da faixa estipulada entre 5 e 120seg's, ajuste default de 60seg's.

**BANDA MORTA:** Indica o percentual da tensão nominal 13,8KV, que será adicionada a tensão de referência, para que seja delimitada as faixas de regulação de tensão "X" e "Y", permite alterar a banda morta ON-LINE dentro da faixa estipulada entre 0,63 e 3,12%, ajuste default de 0,63 seg's.

**CORRENTE MÁXIMA: IMax –** Indica a corrente máxima a ser utilizada pela reta de carga, permite alterar a corrente máxima ON-LINE dentro da faixa estipulada para este exemplo entre 350 e 800Amp. - ajuste default de 350Amp.

**CORRENTE MÍNIMA: IMin –** Indica a corrente mínima a ser utilizada pela reta de carga, permite alterar a corrente mínima ON-LINE dentro da faixa estipulada para este exemplo entre 100 e 250Amp. - ajuste default de 120Amp.

**TENSÃO MÁXIMA: VMax –** Indica a tensão máxima a ser utilizada pela reta de carga, permite alterar a tensão máxima ON-LINE dentro da faixa estipulada para este exemplo entre 14,2 e 14,5KV. - ajuste default de 14,4KV.

**TENSÃO MÍNIMA: VMin –** Indica a tensão mínima a ser utilizada pela reta de carga, permite alterar a tensão mínima ON-LINE dentro da faixa estipulada para este exemplo entre 13,8 e 14,2KV. - ajuste default de 14,19KV.

**CONTADOR COMUTAÇÃO DE TAP ACUMULADO:** Indica o acumulado de operações automáticas tanto pelo LAF-CAT como pelo relé 90. Este parâmetro é utilizado para determinar as

manutenções programadas em função da quantidade de comutações realizadas. Permite alterar ON-|LINE o contador após uma manutenção, entre 0 e 100.000 operações.

Na imagem 8 temos a tela de operação do automatismo LAF-CAT, a parametrização desta tela somente é habilitada ao controlador do sistema, estes controles são:

| | | |
|---|---|---|
| CONTROLE DE TENSAO | CAT | CMD |
| RETA DE CARGA | DESLIGADA | CMD |
| TABELA INVERSA | LIGADA | CMD |
| TENSAO DE REFERENCIA | 14.37 | |
| CHAVE 43CSC | REMOTO | |
| CONDICOES DE CONTROLE | NORMAL | |
| TRANSDUTOR | NORMAL | |
| MEDICOES | | |
| TAP | 02 | |
| TENSAO REGULADA | 14.35 | |
| TEMPO MORTO CALCULADO | 60 | |
| CONTADOR DE OPERACOES | 3114 | |

Imagem 8

**CONTROLE DE TENSÃO:** Indicação do estado operacional do automatismo LAF-PE, a indicação "CAT", significa dizer que o automatismo está no modo atuação, conforme já descrito no item 2.1 e conseqüentemente a indicação "RELÉ 90" significa dizer que o automatismo está na condição supervisão, sendo que nesta condição o controle de tensão está sendo efetivamente executado pelo relé 90, a cor verde indica condição permanente e a cor vermelha indica condição provisória. Através do boton de comando CMD deste parâmetro, são oferecidas as opções de comando para Ligar ou desligar o automatismo LAF-CAT, ligar ou desligar o Relé 90, quando ambos os controles permanecem desabilitados, ocorrerá a indição de "MANUAL REMOTO", esta condição significa dizer que o transformador regulador ou regulador de tensão permanecem sem regulação automática, apenas manual, esta condição poderá ocorrer intencionalmente por conveniência operativa, ou quando alarmar falha nos transdutores de corrente ou tensão.

**RETA DE CARGA:** Indica o estado operacional desta função lógica, a indicação "DESLIGADA", significa dizer que a Vref fixo será utilizada pelo automatismo, e na condição "LIGADA" será utilizado o Vref calculado, conforme descrito no ítem 2.3. Através do boton de comando CMD e possível colocar a reta de carga na condição ligada ou desligada.

**TABELA INVERSA:** Indica o estado operacional desta função lógica, a indicação "DESLIGADA", significa dizer que o tempo morto fixo de 60 segundos será utilizado pelo automatismo, e na condição

“LIGADA” será utilizado o tempo morto calculado, conforme descrito no ítem 2.4. Através do boton de comando CMD e possível colocar a tabela inversa na condição ligada ou desligada.

**TENSÃO DE REFERÊNCIA:** Indica a tensão ajustada como referência, fixo com a tabela inversa desligada ou calculado com a tabela inversa ligada.

**CHAVE 43CSC:** Chave permissiva, posição “LOCAL” permite apenas comando local para comutar tap’s, na posição “REMOTO” permite apenas telecomando de comutação de tap’s, utilizada como condição de segurança na posição local, quando da intervenção da manutenção no mecanismo do comutador.

**CONDIÇÃO DE CONTROLE:** Lógica de controle permissivo para comutação de tap’s, duas situação distintas de bloqueio são configuradas, a primeira quando ocorre subtensão na Vbarra a níveis táis que já ultrapassaram a capacidade de regulação oferecida pelo comutador, este bloqueio tem como objetivo evitar que comando para elevar tensão sejam repetidamente enviados ao comutador desnecessariamente, podendo ocosionar danos ao seu mecanismo, a segunda condição é quando o carregamento do equipamento atingiu o limite máximo de sobrecarga, nesta situação ocorrerá também o bloqueio do automatismo, este bloqueio é para evitar desgate excessivo dos contatos do comutador por arco elétrico. Tanto a condição de bloqueio por subtensão como também por sobrecorrente, comutará automáticamente para a condição “MANUAL REMOTO”, bloqueando a lógica LAF-CAT, tanto logo as condições de bloqueio sejam normalizadas, ocorrerá à comutação inversa, retornando com o automatismo em serviço, com a indicação “CAT”.

**TRANSDUTOR:** A indicação “NORMAL” significa dizer que as amostras de tensão e corrente dos transdutores estão dentro de parâmetros pré-definidos que habilitam estas amostras para operação, caso contrário ocorrerá à comutação automática colocando o automatismo LAF-CAT fora de serviço e inserindo o relé 90, indicando transdutor “FALHA”, tão logo se normalize a amostra que ocasionou a falha, retornará também automaticamente à condição inicial “CAT” inserindo novamente o automatismo LAF-CAT em serviço, esta supervisão contínua das amostras é realizada pela função lógica watchdog de corrente e tensão.

**TAP:** Indicação ON-LINE do tap que se encontra o comutador, esta informação é utilizada no automatismo, para monitorar se os comandos de regulação estão sendo satisfatórios, comparando o tap anterior com o tap esperado de acordo com o comando executado para elevar ou abaixar, caso o tap indicado após 8 seg’s de efetivado o comando de regulação, não seja o mesmo que o esperado pela lógica será gerado alarme para o centro de controle “ERRO TAP” para as devidas providências.

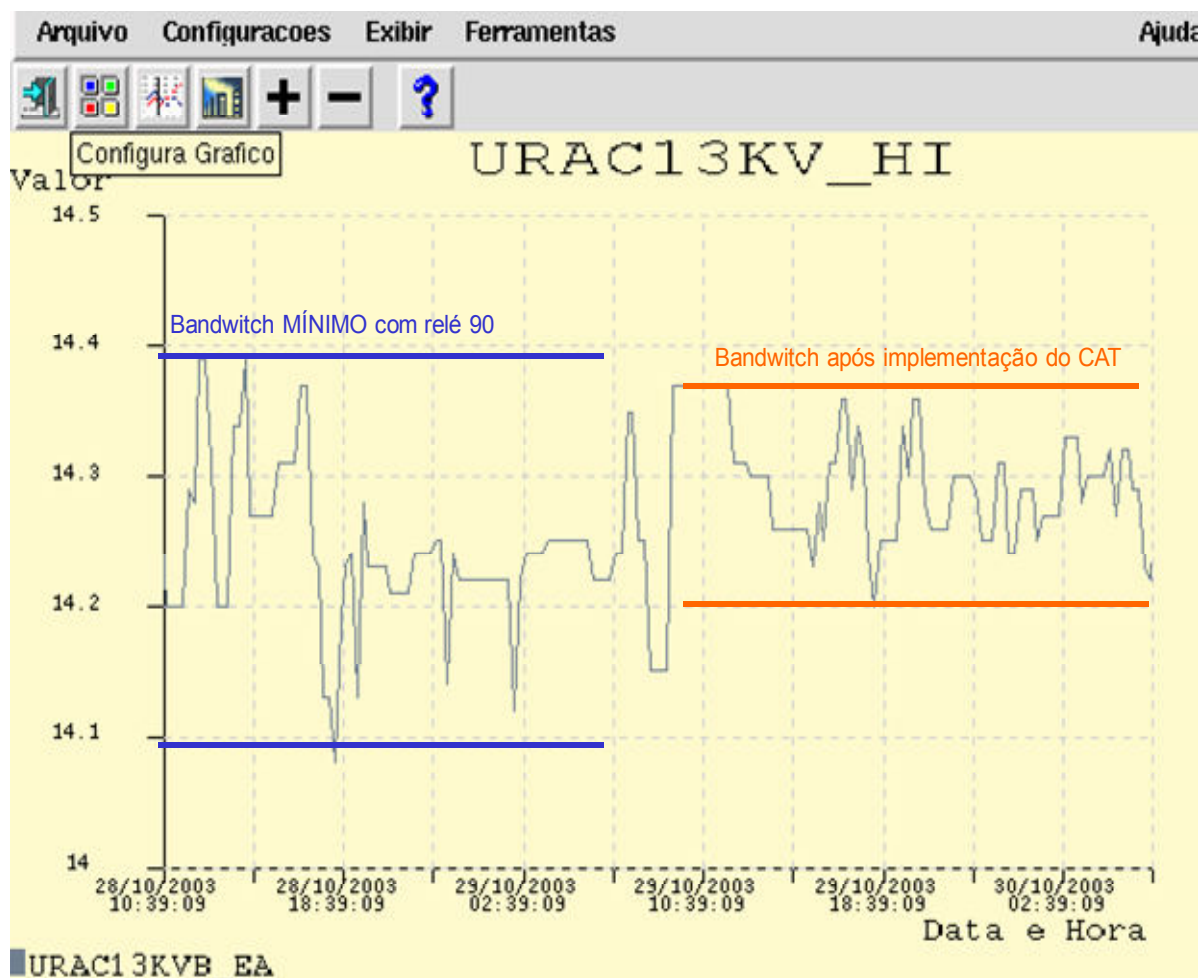
**TENSÃO REGULADA:** Vbarra – Indicação ON-LINE da mostra de tensão fornecida pelo transdutor instalado na barra regulada.

**TEMPO MORTO CALCULADO:** Indicação ON-LINE do tempo calculado pela tabela inversa, em que se efetivará o comando para regulação de tensão, conforme descrito no item 2.3.

**CONTADOR DE OPERAÇÕES:** Indicação ON-LINE do total de comutações automáticas realizadas.

## 3. Conclusões

O primeiro automatismo LAF-CAT entrou em operação em novembro de 2001, a partir desta data temos contabilizado uma série de vantagens, das quais se destacam:

- Redução dos índices de insatisfação por parte dos consumidores, esta redução ocorreu principalmente em função da melhoria do desempenho do controle de tensão oferecida pelo automatismo, evitando-se as reclamações e multas devido ao estrapolamento dos limites de tensão estabelecidos pela ANEEL, conforme podemos comprovar na imagem 9, que realiza uma comparação antes e após a implementação do LAF-CAT.

- Ganhos financeiros na ordem de R$ 5300,00/ANO por equipamento, devidos basicamente à manutenção corretiva que deixou de ser realizada, dados baseados nos históricos de manutenção envolvendo reparos nos relés eletrônicos para controle de tensão, este valor poderá chegar a R$265000,00/ANO quando todos os 50 equipamentos estiverem com o automatismo LAF-CAT.
- Otimização dos recursos de mão de obra da manutenção, disponibilizando para outras atividades, evitando concentração de recursos humanos em uma atividade específica;
- Flexibilidade operacional com a possibilidade da parametrização ON-LINE, alterando os ajustes em tempo real através dos comandos disponibilizados nas telas do sistema supervisório, evitando-se envolver equipes de operação e manutenção para promover tais ajustes, sem a necessidade de deixar o equipamento indisponível ao sistema durante esta tarefa, esta condição proporcionou enorme redução nos custos da manutenção que não foram mensurados e, portanto não foram incluídos no ganho financeiro mencionado;

- Facilidade de implementação do automatismo com baixo custo, resumindo basicamente na aquisição de transdutores de tensão e corrente, matriz de diodo para possibilitar indicação remota de TAP, contactor biestável para permitir selecionar entre LAF-CAT e relé eletrônico e mão de obra para desenvolver e instalar o automatismo na UTR/CLP e também para realizar a configuração do sistema supervisório, totalizando custo médio de implementação da ordem de R$ 5000,00 por unidade, com retorno do valor investido já no primeiro ano de instalação.

Diante das inúmeras vantagens obtidas com a implantação deste automatismo, após passar por testes de laboratório e um longo período de testes de campo realizando as devidas correção e atualizações, este aplicativo se consolidou como uma importante ferramenta para suprir as deficiências do relé eletrônico para controle de tensão, podendo ser utilizado em qualquer circuito onde se deseja monitorar e controlar a tensão.

**4. Referências bibliográficas e/ou bibliografia**

Nenhuma.